

MIKROPROCESSZOR BÁZISU VÉRGÁZ ANALIZÁTOR

Jobbágy Ákos, Erdényi János

Budapesti Műszaki Egyetem Műszer- és Méréstechnika Tanszék, RADELKIS
Elektrokémiai Műszergyártó Szövetkezet

Az elektrokémiai mérések - különösen a vérgáz analízis - szakképzett kezelőt igénylő, viszonylag bonyolult mérések. Mivel az igény a vérgáz analízis iránt egyre nő, szükség van olyan analizátorokra, melyek szakképzetlen kezelő felügyelete alatt képesek a klinikai rutin mérések elvégzésére. Ebből adódóan a készülék működése autonóm, kezelése egyszerű kell, hogy legyen. A cikkben egy intelligens, mikroprocesszor bázisú készülék példája kapcsán elemezzük a vérgáz analízisnél fellépő mérés technikai problémákat és a lehetséges megoldásokat. Röviden ismertetjük a tervezés háttéréül szolgált mikroprocesszoros alkalmazástechnikai rendszert.

1. A vérgáz analízis alkalmazási területei, a biológiai és elektrokémiai háttér

A vérgáz analízis a szervezet sav-bázis egyensúlyáról ad információt. Elsősorban koraszülött osztályokon és a tüdőgyógyászatban alkalmazzák, de ma már a belgyógyászatban is egyre gyakoribb a használata. A sebészek a betegek műtét utáni állapotának vizsgálata során használják, míg az intenzív osztályokon abban az esetben, ha transcutan mérési lehetőség nincs, gyakran ellenőrzik a sav-bázis egyensúlyt vérgáz analizátorral. /Itt említjük meg, hogy a vérgáz analízist végző készülékek némi módosítással alkalmasak vizelet pH értékének megállapítására is; elsősorban a standard oldatok cseréjére van ehhez szükség. Az utóbbi időben teljes vizeletgáz analízis elvégzésére is láttunk példát./ A biológiai háttér elemzésekor két fontos problémát kell kiemelni:

a./ az emberi szervezet hatékony szabályzó mechanizmusa miatt a megfelelő paraméterek igen szűk tartományban változnak, ezért nagy felbontásra van szükség /vér pH mérése esetén a változási tartomány 0,3 pH, a szükséges felbontóképesség 0,001 pH/

b./ A vérgáz analízis során a szervezeten belüli artériás vér jellemzőinek a meghatározása a cél. Az analízis során vérben oldott gázok parciális nyomását határozzuk meg, ezért nagy gondot kell fordítani a vérvétel módjára: törekedni kell az anaerob körülmények biztosítására. A levegőben is jelen levő CO_2 és O_2 parciális nyomása lényegesen eltér a vérminta azonos jellemzőitől. Részben a levegővel való érintkezés folytán kialakuló parciális nyomás kiegyenlítődés, részben a haemolízis és bealvadás veszélye miatt a vérgáz analízis nem végezhető el megbízhatóan, ha a vérvétel után több mint 10 perc eltelt.

A vérgáz analizátorok általában 2 potenciometriás /pH és CO_2 parciális nyomás/ és egy amperometriás / O_2 parciális nyomás/ mérőcellával rendelkeznek. Az elektrokémiai mérőcellák velejárója az instabilitás, különösen biológiai minták mérésekor. Ennek fő oka a diffúziós potenciál és annak hőmérséklettől és idegen ionoktól való függése. Másik - jellegzetesen biológiai minták mérésekor fellépő - jelenség az, hogy a mintában jelenlevő nagy fehérjemolekulák az aktív

membránra rátapadva, annak felületéből bizonyos részt passziválnak.

Az elektród membránok lassu öregedése is problémát okoz /üveg membránnál az átkristályosodás/, mert ezzel párhuzamosan csökken az elektród érzékenysége.

A felsorolt nemkívánatos jelenségek nagy része additív hibát okoz, a membránok öregedése meredekség változást, a fehérje lerakódás pedig mindkettőt. Nem hanyagolható el az érzékelőkhöz kapcsolódó analóg elektronika driftje sem, mivel 0,001 pH változás kb. 50 mikrovolt jelváltozásnak felel meg.

2. A vérgáz analízátorral szemben támasztott követelmények, mérés- réstéchnikai problémák

Annak, hogy a fent említett zavaró jelenségek ellenére is kellő pontosságot érhessünk el - a kívánt nagy felbontással, a mérési idő növelése nélkül - a következő feltételei vannak:

- az elektrokémiai mérőcellák meghibásodásainak jóslása és detektálása,
- kellő gyakorisággal elvégzett egypon-tos és kétpontos illesztések,
- a cellák egyensulyi állapotának becsléséből adódó szubjektív hiba kiküszöbölése,
- a paciens adatainak /Hb, testhőmérséklet/ és a környezeti adatoknak /cellák tömbhőmérséklete, légnyomás/ figyelembe vétele az eredmények számításakor,
- a vérminta kondicionálása a vérvételtől a mérőcellába való bejuttatásig.

A mérőcellák hibáinak detektálása megóvja a kezelőt a helytelen mérési adatok felhasználásától. Gáz elektródok esetén a membrán állapota vezetőképesség méréssel tesztelhető. Az elektródok öregedését válaszüdejük növekedése és meredekségük csökkenése jelzi, így ezen két paraméter mérése alapján előrejelzést adhatunk arról, hogy várhatóan mennyi ideig használhatók még.

Mivel a mérőcellák válaszfüggvényében az offset-hiba változása /drift/ lényegesen gyorsabb, mint a meredekség változása, az egypon-tos illesztéseket gyakrabban kell elvégezni - a ma létező készülékekben ez minden mérés előtt megtörténik. Kétpontos illesztést adott idő eltelte és/vagy adott számú mérés elvégzése után kell végezni. /Az alkalmazott mérőcellák és az analóg elektronika rövid idejű stabilitásának összhangban kell lenni a felbontással!/ A mai elemkészlet mellett előfordulhat, hogy nincs szükség minden mérés előtt egypon-tos illesztésre - az illesztések gyakoriságát az elektródok állapotától kell függővé tenni.

A cellák egyensulyi állapotának megítélése a válaszfüggvény analízisén kell, hogy alapuljon. A klasszikus függvényanalízis alapján megfogalmazhatjuk a cella beállításának kritériumát: az egyensulyi állapot beállt, ha a válaszfüggvény meredeksége egy adott értéknél kisebb. Ezt a vizsgálatot célszerű úgy elvégezni, hogy az első derivált abszolút értékének deriváltját képezzük. Az első derivált abszolút értékének deriváltja - vagy a válaszfüggvény második deriváltja - lehetővé teszi azt is, hogy a cella válaszfüggvényének kezdeti szakaszát analizálva eldönthessük, hogy konvergencia-e a beállítás. Ha a kezdeti szakaszt vizsgálva a válasz divergensnek bizonyul, akkor nem lesz szükség 90...100 sec kiváráására ahhoz, hogy a divergenciát detektálni tudjuk.

A paciens adatok és a környezeti légnyomás - figyelembe véve a szükséges felbontást - jelentősen befolyásolják a mérendő paraméterek értékeit, ezért a felhasználónak lehetőséget kell biztosítani arra, hogy valamilyen módon korrigálni tudja a mért értékeket. A cellák hőmérsékletének figyelembe vétele helyett általánosan elterjedt módszer ezek termosztálása $37^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ -on.

A vérminták kondicionálása részben a véralvadás gátlást jelenti, /pl. heparin bekeveréssel/ részben az anaerob körülmények biztosítását - a vérvevő kapilláris vagy fecskendő lezárásával.

3. Mikroprocesszoros intelligens vérgáz analízátor

Elsősorban az előzőekben felvázolt követelmények kielégítésére építenek be mikroprocesszoros rendszert a vérgáz analízátorokba. Annak érdekében, hogy egy ilyen rendszer nyújtotta lehetőségeket minél jobban kihasználhassuk, célszerű a felmerülő feladatok közül amennyit csak lehet a kezelő közreműködése nélkül, a rendszer felügyelete alatt végeztetni el. Ezzel kapcsolatban elsődleges teendő a működés leírása folyamatábra szinten. Ennek alapján meg kell határozni a szükséges érzékelő és beavatkozó szerveket, amelyek biztosítják az automatikus működéshez szükséges kapcsolatot a mikroprocesszoros rendszer és a készülék többi része között.

Itt kívánjuk megjegyezni, hogy egy teljesen autonóm működésű műszer létrejöttét alapvetően akadályozza, hogy mivel a vérgáz analízis nem végezhető el megbízhatóan, ha a vérvétel után több mint 10 perc eltelt, ezért nincs értelme automata mintaváltó alkalmazásának. Hűtött minták esetén a 10 perc 30 percre növelhető, de ebben az esetben speciális, az anaerob körülményeket a mintaváltás és a mozgás alatt is biztosító mozgató mechanizmust kellene használni.

Szükség van arra is, hogy az alkalmazott méréstechnikai módszerek megfelelőek legyenek. Például az Astrup méréstechnika - amely a CO_2 parciális nyomást közvetett módon méri - lassu, körülményes, így nehezen automatizálható. Ebből adódóan a rutin-mérésekre használt mikroprocesszor bázisu készülékek direkt uton mérnek CO_2 parciális nyomást.

A továbbiakban bemutatjuk, hogy oldottuk meg az előző pontban megfogalmazott feladatokat a beépített mikroprocesszoros rendszer segítségével.

Az elektrokémiai mérőcellák meghibásodásainak /előregedésének/ jóslására egyrészt a minden kétpontos illesztés után rendelkezésre álló meredekség értéket, másrészt a mérés, az egy- és kétpontos illesztés során mérhető cella válaszüdőt használjuk fel. Ezek a paraméterek az elektród öregedésével monoton változnak, a meredekség csökken, a válaszüdő nő. Mindkét paraméter esetén két értékkel való komparálás történik, azaz a paraméterek változási tartományát 3 szakaszra osztjuk:

- a./ kedvező érték /nagy meredekség, rövid beállítási idő/,
- b./ még megfelelő érték /közepes meredekség és beállítási idő/,
- c./ nem megfelelő érték /kis meredekség, hosszú beállítási idő/.

A készülék figyelmezteti ugyan a kezelőt, ha valamelyik paraméter értéke az a./ tartományból a b./ tartományba került, de méréseket még lehet végezni. Ekkor a mérések pontossága és reprodukálhatósága csökken, de az eredmények diagnosztikai célokra még biztonsággal al-

kalmazhatóak. Ha valamelyik paraméter értéke a c./ tartományba kerül, akkor a készülék nem engedélyezi mérések elvégzését, hiszen a kapott eredmények megbízhatósága már nem lenne kielégítő.

Az egy- és kétpontos illesztések gyakoriságát függővé kell tenni az elektródok állapotától is. Ehhez - két egymást követő azonos típusu illesztés között eltelt idő mérésével - ki kell számolni a nullpont eltolódás és a meredekség változás sebességét. Abban az esetben, ha a változás mértéke kicsi, akkor az illesztéseket elég ritkábban elvégezni. Mindenképpen szükséges azonban egy időbeli korlát betartása: pl. 15 percnél hosszabb idő ne teljen el két egyponos illesztés között.

A cellák válaszfüggvényének analízise lehetőséget ad arra, hogy egyrészt a beállítás szubjektív megítéléséből adódó hibát kiküszöböljük, másrészt a kezdeti szakasz elemzése alapján eldönthető, hogy a válaszfüggvény konvergencia-e. Divergens lehet a válaszfüggvény, ha

- a cellában buborékos minta van,
- a referencia elektród eltömődött,
- az elektródhoz közvetlenül kapcsolódó analóg elektronika meghibásodott.

A függvény kezdeti szakaszának analízise alapján megbecsülhetjük a végértéket, ez - főleg gáz elektródok esetén - a mérési idő jelentős csökkenését eredményezheti. Ezen túlmenően a fenti analízis megteremti a diagnosztikus hibajelzés lehetőségét. Ennek feltétele, hogy a cella termosztálásával és a minta előtermosztálásával minél jobban közelítsük az egyidőállandós válaszfüggvényt.

A paciens adatok és a környezeti légnyomás figyelembe vételén kívül a rendszer számítási kapacitására van szükség a származtatott adatok képzéséhez és a Nernst-összefüggéssel leírható függvény linearizálásához /CO₂ parciális nyomás mérésnél/. Az alacsonyfrekvenciás mintavételezés és a számításoknál szükséges pontosság miatt lebegő-pontos aritmetikai csomagot használtunk fel.

4. Az alkalmazott mikroprocesszoros rendszer: MMT rendszer

Az MMT rendszer moduláris felépítésű /mind a hardware-t mind a software-t tekintve/, processzorfüggetlen. A mikroprocesszoros vezérlő összeállítása lényegében a megfelelő, készen meglevő rendszer-elem kártyák kiválasztását jelentette. Ennek következményeképpen a hardware tervezési-fejlesztési-bemérési munkát a készülék fejlesztése során megtakarítottuk! A software elkészítését egy magasszintű, strukturált real-time nyelv használata segítette. Ennek előnye, hogy a szükséges real-time vezérlési és szinkronizálási feladatok egyszerűen megoldhatók, továbbá a készülék program jól szegmentált, a klinikai tapasztalatok alapján felmerülő igényeknek megfelelően a későbbi módosítások viszonylag egyszerűen elvégezhetők. A készülék software moduljainak egy része /beállítás figyelés, konvergencia vizsgálat, stb./ általánosan felhasználható elektrokémiai készülékekben - egy fejlesztés alatt álló Na⁺ - K⁺ analizátorban a vérgáz analizátor programjának kb. 50...70 %-a felhasználható.

A mikroprocesszoros rendszer használatának további előnye, hogy

- a beépített displayre küldött üzenetekkel segíti a kezelőt, így nincs szükség szakképzett operátorra,
- a beépített önteszt funkciók növelik a rendszer - és így a kapott eredmények - megbízhatóságát, leegyszerűsítik a hibadiagnosztikát

és megkönnyítik a szervizelést,
- biztosítja a készülék egyszerű illesztését központi kórházi számítógéphez.

Az MMT rendszer alkalmazása tervezési háttérként - a kész hardware és software modulok, fejlesztő-, bemérő- és gyártást segítő be-
rendezések felhasználásával - biztosította, hogy a mikroprocesszoros
rendszer a készülékfejlesztésnek ne célja, hanem csak eszköze legyen.
Ez részben a fejlesztési idő radikális csökkentését eredményezte, rész-
ben lehetővé tette, hogy a fejlesztést ne a mikroprocesszoros technika,
hanem elsősorban az elektrokémiai mérés technika szakemberei vé-
gezzék.